

Cómo citar este trabajo: Martí Talavera, J., Moltó Mantero, E., & Sánchez Almodóvar, E. (2020). Analysis of the verification of weather warnings by maximum temperatures in the Region of Murcia (2010–2017). *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, (86).
<https://doi.org/10.21138/bage.2958>

Análisis de la verificación de los avisos meteorológicos por temperaturas máximas en la Región de Murcia (2010–2017)

Analysis of the verification of weather warnings
by maximum temperatures in the Region of Murcia (2010–2017)

Javier Martí Talavera 

jmt25@alu.ua.es

Enrique Moltó Mantero 

enrique.molto@ua.es

Esther Sánchez Almodóvar 

esther.sanchez@ua.es

*Instituto Interuniversitario de Geografía. Laboratorio de Climatología
Universidad de Alicante (España)*

Resumen

El uso de los datos climáticos de más de 90 observatorios meteorológicos repartidos en la Región de Murcia, ha permitido tener una muestra muy heterogénea de las temperaturas máximas, teniendo en cuenta distintos entornos, tanto urbanos, como naturales. La relación entre los avisos emitidos por altas temperaturas y su comparativa con los valores finalmente observados ha permitido poder aplicar unos índices de verificación, que en algunos casos han tenido que ser modificados para su correcta aplicación, los cuales reflejan una notable sobreestimación de estas alertas, así como una mejora en el número de aciertos en los últimos años. La realización

de la cartografía ha permitido localizar e identificar cuáles son las áreas donde existe, tanto una mayor anomalía térmica, como una menor incidencia de los distintos índices de verificación, pudiendo servir de ayuda para una revisión o mejora de los umbrales y zonificación de los avisos meteorológicos en esta provincia.

Palabras clave: índices de verificación; riesgo meteorológico; fenómenos de meteorología adversos; altas temperaturas; región de Murcia.

Abstract

The use of climatic data from more than 90 meteorological observatories distributed in the Region of Murcia, has allowed me to have a very heterogeneous sample of maximum temperatures, taking into account different environments, both urban and natural. The relationship between warnings issued by high temperatures and their comparison with the values finally observed has allowed us to apply verification indexes, which in some cases have had to be modified for their correct application, which reflect a significant overestimation of these alerts, as well as an improvement in the number of correct answers in recent years. Carrying out the cartography has made it possible to locate and identify the areas where there is a greater thermal anomaly, as well as those areas where there is a lower incidence of the different verification indexes, and may help to review or improve the thresholds and zoning of meteorological warnings in this province.

Key words: verification indices; meteorological risk; adverse meteorological phenomena; high temperatures; Murcia region.

1 Introducción

Los avisos meteorológicos son uno de los elementos indispensables de la información meteorológica, tanto por parte de los medios de comunicación, como de los distintos organismos encargados de su gestión. La importancia de una buena predicción es una cuestión que debe tenerse muy en cuenta, más si cabe en España, donde la mayor parte de los desastres naturales son causados directa o indirectamente por fenómenos meteorológicos. En algunos casos, la falta de acierto está relacionada con las propias delimitaciones establecidas en la metodología de estos sistemas, tales como, la resolución espacial, los umbrales o la frecuencia horaria de los avisos. Este trabajo tiene como objetivo estudiar el comportamiento de los avisos por altas temperaturas en la Región de Murcia, de tal manera que nos permita abordar la problemática del escaso porcentaje de acierto y su variación entre los años 2010 y 2017. Además, se pretende indagar acerca de los

actuales procesos de verificación de los avisos utilizados por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), que resultan incompletos, en cuanto a su metodología, y de poca utilidad. Para ello, se pretende realizar una remodelación de este sistema, de manera que englobe todos los avisos y tenga en cuenta todas las situaciones. Se utilizarán dos bases de datos climatológicos con características distintas, que serán también analizadas de forma independiente, una ligada al ámbito agrícola, y otra, más heterogénea, que incluye datos urbanos. A priori, se espera que los resultados sean más dispares en el caso de la primera fuente de información, ya que los datos no estarán expuestos a la posible influencia de la isla de calor urbana estival en algunas de sus estaciones. Por último, mediante un análisis cartográfico se pretende indagar acerca de cuáles suelen ser las zonas más proclives a la infravaloración o sobreestimación por las predicciones.

1.1 Estado de la cuestión

A pesar de la escasez de bibliografía existente sobre esta temática, podemos diferenciar dos fases dentro de los antecedentes en trabajos y estudios encaminados a investigar el desarrollo de los avisos meteorológicos en España. La primera fase, donde la bibliografía era muy escasa, tendría lugar de forma coetánea a la creación de estos sistemas a finales de los años 80 (Jansà Clar, 1987; Garcias Lladó & Jansà Clar, 1989). Estos primeros estudios detallaban la metodología primigenia de un sistema de avisos compuesto solo para un único fenómeno que, a la larga, acabaría configurando los protocolos integrales que existen en la actualidad.

La segunda fase, a su vez, contiene dos corrientes, por un lado, estaría la corriente institucional y, por otro, la académica. La primera corriente se centra en la presentación y puesta en valor de un producto ya consolidado como es el Plan Meteoalerta. Es por ello que prácticamente la totalidad de los trabajos son conferencias y ponencias, realizadas por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) y su personal en congresos, cursos y jornadas (Elizaga Rodríguez, 2009; Alcázar Izquierdo, 2010; Belda, 2012; Lomas & Torrijo, 2013; Gordaliza Borrego, 2018). Dentro de la corriente académica, encontramos una mayor heterogeneidad en los trabajos. Estrela Navarro et al. (2007) desarrollaron un sistema de avisos para episodios de olas de calor analizando las condiciones sinópticas de situaciones pasadas, realizando una nueva distribución espacial de los avisos a partir de zonas termoclimáticas y de los correspondientes umbrales de riesgo. Peña Rabadán y Raso Nadal (2008) realizan otra propuesta metodológica para la delimitación de los avisos por temperaturas máximas en Cataluña. Estos mismos autores desarrollan también una sectorización de los avisos por temperaturas mínimas, utilizando el percentil 2 de la temperatura mínima diaria y un umbral de riesgo basado en la correlación de dicho percentil con el número de fallecidos diarios (Peña Rabadán y Raso Nadal, 2010). Olcina Cantos (2012) dedicó un capítulo monográfico a las alertas meteorológicas. Mayer Suarez y Marzol Jaén (2014) trabajaron sobre la relación entre

temperaturas máximas y avisos en las Islas Canarias, estableciendo que en las últimas décadas no han aumentado esas alertas, pero sí las noches tropicales. Camarasa Belmonte y Butrón (2016) se centran en el marco de las precipitaciones intensas en la Comunidad Valenciana, y establecen una correlación entre estas y los daños generados para generar nuevos umbrales de aviso.

En el marco de las investigaciones realizadas sobre la verificación de los avisos meteorológicos es necesario realizar una distinción entre los trabajos realizados antes y después de la creación del Plan Meteoalerta. Los primeros se realizaron en el marco del Plan PREVIMET, origen del actual plan, que estuvo en vigor hasta 1995. El primer trabajo de verificación de avisos escrito en España fue el realizado por Jansá Clar (1987), ya mencionado anteriormente, basado en dos referentes de la materia, como Brier y Allen (1951) y Daan (1984). García-Moya Zapata et al. (1990) utilizaron para la verificación de los avisos en las Islas Baleares otras metodologías, destacando el uso del *Ranked Probability Skill Score*, desarrollado por Epstein (1969), que mide la desviación con respecto a los valores climatológicos. Gómez-Guillamón Fernández (2001) verificó los avisos meteorológicos de todo el territorio nacional entre 1997 y 2000, dentro del ámbito de un nuevo sistema de avisos, más parecido al actual, denominado como Plan Nacional de Predicción y Vigilancia de Fenómenos Adversos. Dicho trabajo expone uno de los grandes problemas que tenía dicho plan y el actual, hasta 2013, un elevado número de avisos debido a unos umbrales de riesgo demasiado bajos. Conclusiones similares son las detalladas también por Martínez Albadalejo (2001) en una evaluación de los avisos por fenómenos adversos en Cataluña desde diciembre de 1996 hasta septiembre de 2001.

Dentro de los trabajos realizados en el ámbito del Plan Meteoalerta destaca principalmente el de Del Pino Corredera (2016), que divulga los índices y la metodología que utiliza la Agencia Estatal de Meteorología mostrando, además, la fuerte dependencia que tienen dichos índices con el número de fenómenos meteorológicos adversos observados. Torrijo Murciano y Lomas González (2018) estudian la calidad de los avisos según el tamaño del área donde se emiten, concluyendo que no es posible establecer una relación clara. Peñuela Palma et al. (2019) analizarían los avisos activados en la provincia de Sevilla entre 2011 y 2017 con una metodología, en parte, parecida a la realizada en este trabajo.

1.2 Contexto histórico de la predicción de fenómenos meteorológicos adversos en España

La recurrencia de los peligros climáticos en España y sus consecuencias han sido la base para la creación de multitud de infraestructuras, protocolos y planes que tienen como fin disminuir el

riesgo y aumentar la resiliencia de la población. La predicción meteorológica no es ajena a este hecho y, desde los años 80, ha evolucionado para ofrecer un producto acorde y entendible para la sociedad civil actual y los organismos encargados de la salvaguarda de esta.

La pantanada de Tous, acaecida el 20 de octubre de 1982, provocada indirectamente por las fuertes precipitaciones registradas en la cuenca del río Júcar, debido a la formación de un Complejo Convectivo de Mesoescala (Rivera y López, 1983), supuso un antes y un después en la predicción meteorológica. A raíz de este hecho, se inició dentro del Instituto Meteorológico Nacional (INM), hoy Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), un proceso de renovación tecnológica, que culminaría con la creación del SIVIM (Sistema Integral de Vigilancia Meteorológica). Este sistema consistía en la utilización de un mayor número de información y fuentes, como datos e imágenes proporcionados por satélites, radares meteorológicos, estaciones automáticas y detectores de rayos, así como la existencia de un ordenador capaz de procesar y modelar toda la información (Roa & García 2018). La base de este sería el sistema Mcldas, desarrollado por el Centro de Meteorología Espacial de la Universidad de Wisconsin (Rivera, 2013). Con ello se pretendía realizar una predicción más completa que permitiera predecir, en mayor o menor medida, fenómenos de meteorología adversa. Esta renovación daría lugar a la creación del Sistema Nacional de Predicción, integrada, entre otros departamentos, por los Grupos de Predicción y Vigilancia (GPV). El primero que entraría en funcionamiento sería el de Palma de Mallorca en 1986, completándose hasta llegar a un total de 11 grupos repartidos por todo el territorio nacional, durante los tres años posteriores.

En 1987 se crearía el plan Previmet Mediterráneo, germen del actual Plan Meteoalerta. Este procedimiento se basaba en:

“establecer una normativa técnica y operativa de actuaciones durante la temporada crítica de aparición de probables lluvias intensas en el Mediterráneo (septiembre a noviembre, ambos inclusive), así como definir los criterios y métodos de información y coordinación con la Dirección General de Protección Civil, organismo oficial encargado de coordinar todas las actuaciones en situaciones de emergencia o catástrofes” (Rivera, 1990).

Para ello, se emitirían diariamente dos boletines informativos, con la posible cantidad de precipitación que se podía acumular en las próximas 36 horas. Este plan también trajo consigo la creación de un sistema de niveles por colores y por cantidades, que continuamente fue modificándose (Rivera, 2013).

El primer grupo que estableció estas primeras alertas fue el GPV Baleares, con la salvedad de que, a parte de las fuertes precipitaciones, añadió otros meteoros que también afectaban al archipiélago, como las tormentas, el viento, la nieve y las “rissagas”. Su configuración era parecida a la actual, en el caso de las fuertes lluvias, por ejemplo, constaba de 5 niveles -blanco, verde (0), amarillo (1), rojo (2) y rojo (3)-, a partir de unos umbrales de precipitación esperada establecidos (Garcías y Jansà, 1989). En cambio, en el caso de “rissagas” se suprimía uno de los dos niveles rojos y el umbral estaba determinado por la amplitud del nivel del mar previsto (Jansà, 1987). No obstante, es necesario destacar que antes de esa fecha tanto el Centro Nacional de Predicción como algún Centro Territorial del INM podía emitir algún aviso en caso necesario, pero no de forma normalizada ni reglamentada.

En 1995 se creó el Plan Nacional de Predicción y Vigilancia de Fenómenos Adversos, que sustituiría a PREVIMET. Este sistema tenía como novedad la introducción de más meteoros y la globalización de los avisos a nivel nacional. Sin embargo, con el paso del tiempo se apreció las deficiencias de este nuevo procedimiento, y, entre otras, destacaba el elevado número de avisos, lo que conllevaba a la saturación del Sistema Nacional de Predicción y, a su vez, a una sensación continua de alerta meteorológica. Esto se debía a que no existía la delimitación administrativa de los avisos actual, ni tampoco un periodo de tiempo que indicara la duración del periodo y aún quedaba mucho por concretar en la definición de los umbrales.

El comienzo de milenio inauguraría un nuevo proyecto, a nivel europeo, denominado *European Multiservice Meteorological Awareness* (EMMA), en el que la AEMET participaría junto con otros miembros de la *European Meteorological Services Network*, más conocida como EUMETNET. El principal fin de este plan sería la armonización de todos los sistemas de avisos meteorológicos europeos en una única interfaz, dando lugar a la creación de la web Meteoalarm. Esto supondría una nueva renovación del Plan Nacional de Predicción y Vigilancia de Fenómenos Adversos, ya que debía adaptarse a los requisitos preestablecidos en el proyecto europeo. Tras varios años, en julio de 2006 sería presentada la primera edición del Plan Meteoalerta, aunque aún con muchas carencias. Sería a partir de su quinta versión, publicada en julio de 2013, cuando ya tendría la configuración espacial y de los umbrales actual.

1.3 Marco teórico

El principal provecho de los avisos meteorológicos recae en utilizar esa información para crear una serie de protocolos y actuaciones que ayuden a la administración a mitigar los posibles daños ocurridos por fenómenos meteorológicos adversos (FMA). Por tanto, estos avisos hay que

trasladarlos al marco de la protección civil, entendiendo esta, y según dicta el Tribunal Constitucional, como:

“el conjunto de medios y actividades civiles dirigidas a evitar, reducir o corregir los daños causados a personas y bienes por toda clase de medios de agresión por los elementos naturales y extraordinarios en tiempos de paz, cuando por la amplitud y gravedad de sus efectos les hace alcanzar el carácter de calamidad pública” (Domínguez Martín, 2013).

En España el organismo que se encarga de la administración de los avisos es la Agencia Estatal de Meteorología, aunque existen otros territorios a los cuales se les ha transferido competencias en meteorología y disponen de sus propios organismos y sistemas de avisos, como es el caso del País Vasco con Euskalmet y de METEOCAT en Cataluña. Si se atiende únicamente en los avisos meteorológicos emitidos por AEMET, se puede ver como se trata de una predicción probabilista cuantificada (Garcías et al., 1989). El atributo probabilista viene dado por el aspecto de probabilidad que va incluido en todos los avisos emitidos, y que por lo general no suele ser tomado muy en cuenta, sobre todo a la hora de la comunicación, induciendo a ser una predicción prácticamente determinista. Por otro lado, el carácter cuantificativo es atribuido a que los avisos vienen definidos por una serie de umbrales que determinan el nivel de riesgo para la población. Sin embargo, esta afirmación no sería del todo cierta, ya que, por ejemplo, en el caso de los avisos por tormentas lo que determina un nivel u otro es el grado de organización y distribución de estas y, por tanto, se trata de un aspecto cualitativo y no cuantificativo. El hecho de que solo haya tres niveles de aviso no es baladí, ya que esta metodología debe ser común a todos los países que conforman el proyecto EMMA, siendo el fin de este la armonización de todos los sistemas de avisos meteorológicos europeos en una única interfaz.

Tabla 1. Matriz de contingencia fenómenos observados/fenómenos previstos

		OBSERVADOS		TOTAL PREVISTOS (TP)
		SI	NO	
PREVISTOS	SI	SS	SN	SS+SN
	NO	NS	NN	NS+NN
TOTAL OBSERVADOS (TO)		SS+NS	SN+NN	TO+TP=TOTAL EVENTOS

Fuente: elaboración propia a partir de Del Pino Corredera (2016)

Por último, es necesario definir los aspectos relacionados con la revisión de los avisos meteorológicos. Para ello es necesario utilizar una tabla de contingencia, que servirá para relacionar

los fenómenos previstos con los fenómenos observados (Tabla 1). De esta matriz se obtendrán 3 tipos de posibilidades: a) Éxitos; b) Fallos; y c) Falsas Alarmas.

Los éxitos (SS) son aquellos fenómenos que han sido previstos a partir de la emisión de un aviso y que posteriormente se han confirmado mediante la observación. En los fallos (NS), en cambio, ese fenómeno no ha sido previsto, pero sí ha sido observado y, por tanto, ha habido un error en la predicción. Por último, las falsas alarmas (SN) se corresponden con aquellos eventos que habían sido previstos, pero que finalmente no se han observado.

Con estas tres posibilidades podemos utilizar varios indicadores de verificación que ayudarán a conocer la calidad de las predicciones realizadas (Tabla 2). El primero de ellos, es la probabilidad de detección (PD), establecido por primera vez por Panofsky y Brier (1965). Se calcula a partir de la división de los aciertos (SS) entre los fenómenos observados (SS+NS). La cifra calculada se situará entre 1 y 0, cuanto más se aproxime al primero más nivel de acierto habrá en las predicciones. La probabilidad de falsas alarmas (PFA) relaciona el número de falsas alarmas (SN) con el total de los fenómenos previstos (SN+SS). Sirve para conocer el grado de sobreestimación de los avisos, y, al contrario que el anterior índice, cuanto menor sea el valor, mayor calidad de las predicciones indica. El origen de este indicador no se puede concretar, Barnes et al. (2009) indican que probablemente el primer trabajo que utilizó esta terminología y metodología actual es McCann (1983). Finalmente, el índice crítico de aciertos (CSI) formulado por Donaldson et al. (1975), que es el cociente de los aciertos (SS) entre la suma de este mismo con los falsos avisos (SN) y los fallos (NS). Este indicador sirve para conocer el nivel de acierto en las predicciones. En este caso cuanto mayor sea la cifra del índice, mayor calidad en las predicciones de los avisos meteorológicos.

Tabla 2. Indicadores de verificación de una predicción

Probabilidad de detección (PD)
$PD = \frac{SS}{SS + NS}$
Probabilidad de falsas alarmas (PFA)
$PFA = \frac{SN}{SN + SS}$
Índice crítico de aciertos (CSI)
$CSI = \frac{SS}{SS + SN + NS}$

Fuente: elaboración propia a partir de Del Pino Corredera (2016)

1.4 Área de estudio

Según el Atlas Climático de la Región de Murcia redactado por Garrido Abenza et al. (2014) existen 4 tipos de climas en esta región: a) Semiárido cálido (Bsh); b) Semiárido frío; c) Mediterráneo con verano caluroso (Csa); y d) Mediterráneo con verano cálido (Csa). En su conjunto se trata de un clima mediterráneo, condicionado en gran parte por su situación a barlovento de las sierras de Segura y Cazorla. Esto hace que la influencia atlántica sea muy poco significativa, tan solo en los relieves más occidentales. La temperatura media anual en la comunidad es de 16 °C, aunque la horquilla en esta variable es muy amplia debido a la orografía, pudiendo ir desde 8,9 °C en algunos puntos de la comarca del Noroeste, hasta llegar a los 19,6 °C en el litoral. Las heladas son comunes en los altiplanos situados al oeste y norte de la provincia, así como en los relieves montañosos, pudiéndose bajar de 0 °C hasta en más de 50 ocasiones anuales. De igual manera son también frecuentes las temperaturas por encima de los 35 °C, sobre todo la Vega del Segura y en el Valle del Guadalentín, de hecho en la ciudad de Murcia se registraron 47.2 °C, el 4 de julio de 1994. La precipitación media anual se sitúa en los 329 mm, habiendo zonas con influencia atlántica donde se llegan a los 577 mm, pudiéndose llegar muy puntualmente a registros cercanos a los 800 mm. Por el contrario, las medias de precipitación más bajas se localizan en el litoral, siendo la cifra más baja de 191 mm, aunque puntualmente se registran años con precipitaciones por debajo de los 100 mm. Esto hace que dichos ámbitos sean unos de los mas secos de España y de Europa. Una proporción importante de los acumulados que se registran en la Región de Murcia se producen en los meses de otoño, donde son muy comunes las precipitaciones convectivas de carácter torrencial generadas por vaguadas y Depresiones Aisladas en Niveles Altos (DANA). No debe olvidarse otro fenómeno climático muy recurrente en esta zona como son las sequías. Su periodo de duración suele ser mayor al año (Álvarez Ruiz, 2016; Ruiz Álvarez, Belmonte Serrato, García Marín y Ruiz Álvarez, 2016) y se debe al predominio de la ciurlación de poniente, cuyos flujos húmedos llegan desgastados a la región (Olcina Cantos & Rico Amorós, 1995). Las sequías suelen interrumpirse tras un periodo de fuertes precipitaciones y se intercalan con varios años con registros por encima de la media.

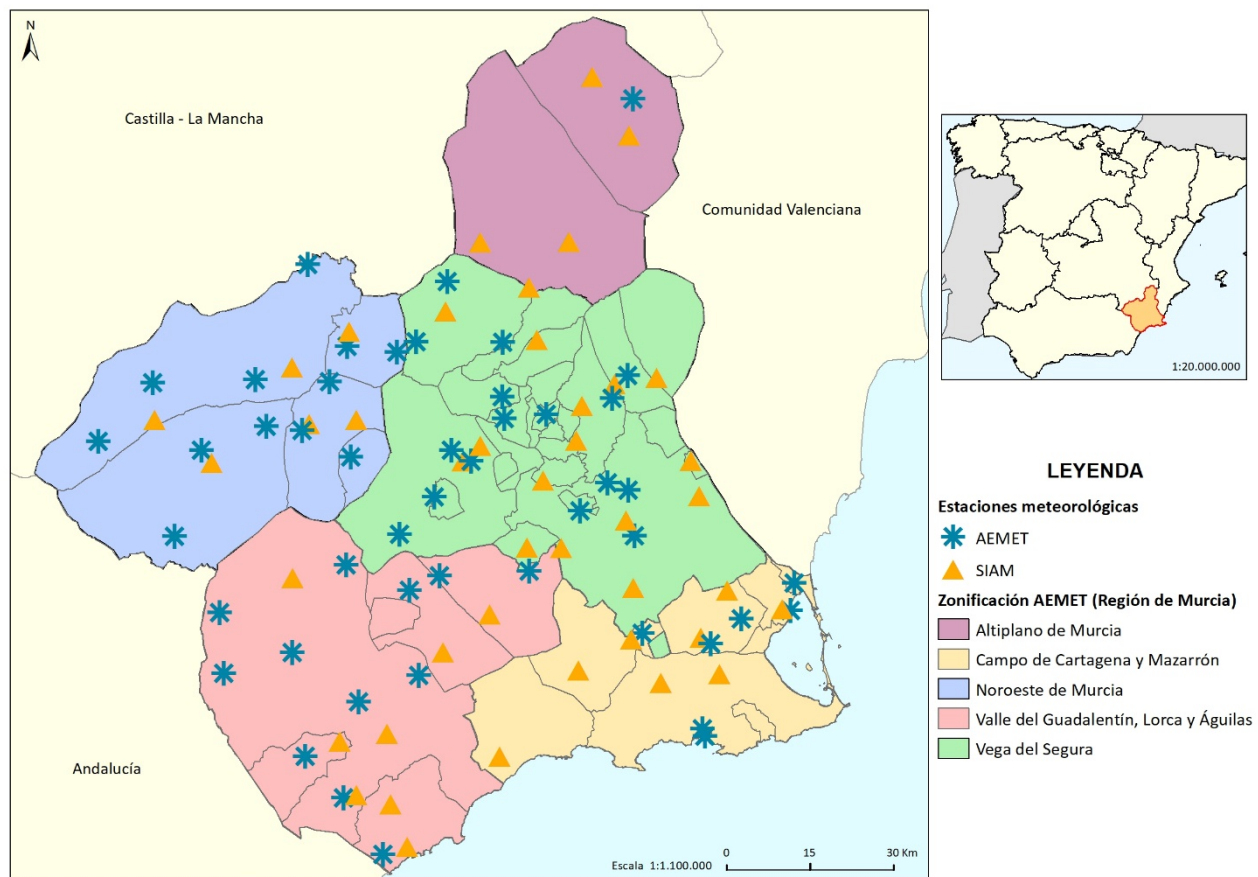
1.5 Distribución zonal de los avisos meteorológicos en la región de Murcia

La actual delimitación de los avisos meteorológicos en España está regida por zonas con unas características climáticas, naturales y de relieve similares. Sin embargo, no hay una metodología que permita cuantificar esta homogeneidad de manera cuantitativa, ya que intervienen todos los

fenómenos atmosféricos, cada uno con sus particularidades a nivel local. Por otro lado, la delimitación de los avisos no es libre, está regida, primero, por los límites municipales de las localidades que conforman esa área, y, segundo, por los límites autonómicos. De tal manera que un aviso nunca puede ir más allá de los límites administrativos, por mucho que una situación lo requiera. Esta metodología responde a unas necesidades operativas, que ya se expondrán más adelante. Al contrario de lo que se suele pensar, esta división no se corresponde con una delimitación comarcal, ya que no existe esa figura dentro de la comunidad autónoma objeto de estudio, al menos de manera oficial.

La región de Murcia cuenta con cinco zonas de aviso terrestres (Figura 1) y dos costeras. Las primeras están conformadas por: a) Noroeste de Murcia; b) Altiplano de Murcia; c) Vega del Segura; d) Valle del Guadalentín, Lorca y Águilas; y e) Campo de Cartagena y Mazarrón. Las segundas son una continuación marítima de las dos últimas zonas citadas. Si realizamos una pequeña síntesis de las principales características climáticas de cada área vemos cómo el Noroeste se caracteriza por ser la zona con la media de temperatura más baja, así como por tener la pluviometría más alta, aunque, con importantes contrastes. El Altiplano se identifica por su homogeneidad, tanto a nivel de relieve como climática. La Vega del Segura engloba el curso medio y bajo de este río dentro de la región, se distingue del resto principalmente por sus elevadas temperaturas. El área que conforma el Valle del Guadalentín es probablemente la más compleja en cuanto a la climatología se refiere. Como ya se ha dicho antes, los avisos están determinados por los límites de los municipios, y en esta zona se cuenta con un componente especial, el municipio de Lorca, el segundo con más extensión de España. En su parte más septentrional, sus características serían similares a la del Noroeste, pues conforma también un altiplano, en su parte central estaría el valle propiamente dicho, y en la parte meridional las sierras prelitorales y la costa, una de las zonas más secas de país. Además, esta zona cuenta con otro componente, Sierra Espuña, que conforma un excelente ejemplo de isla climática. Por último, el Campo de Cartagena cuenta con el clima más dulce debido a su cercanía al mar, de ahí que tenga unos umbrales de temperatura más bajos.

Figura 1. Zonificación para la activación de los avisos meteorológicos en la región de Murcia y ubicación de las estaciones utilizadas en este estudio



Fuente: elaboración propia a partir de la información suministrada por IMIDA y AEMET

2 Metodología

Para la elaboración de este trabajo se ha realizado, en primer lugar, una revisión bibliográfica y documental, con el fin de disponer de una contextualización de los estudios existentes sobre los avisos meteorológicos en España. Con esta información se ha procedido a obtener los datos necesarios para acometer dicha revisión. Dentro de los datos climáticos se ha recurrido a dos fuentes, por un lado, la red de estaciones de AEMET, y por otro, la red de estaciones pertenecientes al SIAM – IMIDA (Sistema de Información Agraria de Murcia). El hecho de utilizar dos bases de datos distintas se debe a varios motivos; a) una mayor heterogeneización de la muestra, hay que tener en cuenta que las estaciones del SIAM se ubican en áreas agrícolas alejadas de ciudades, con lo que se reduce en cierta medida la influencia de las islas de calor urbanas; b) se pretende que la mayor parte del territorio esté representada de cara a facilitar el proceso de interpolación de los datos; c) la carencia de datos si solo se utilizan las series proporcionadas por AEMET, por ejemplo, en el Altiplano solo hay una estación con datos

continuados desde 2010 a 2017. En total se han utilizado los datos diarios de 91 estaciones (48 pertenecen a la AEMET y 43 pertenecen al SIAM, ver Figura 3 para su ubicación). Ha sido necesario filtrar el número de estaciones de una muestra mayor para eliminar aquellas series incompletas, sobre todo las dependientes del organismo estatal.

A diferencias de otros trabajos anteriormente referenciados, se ha optado por utilizar únicamente un riesgo meteorológico y, por tanto, una única variable meteorológica. El hecho de utilizar solo las temperaturas máximas y no otra variable atmosférica se debe a las siguientes apreciaciones; a) En el caso de las precipitaciones, los avisos por acumulados de lluvia incorporan una variable de tiempo, como puede ser, por ejemplo, 20 l/m² recogidos en una hora, siendo los datos horarios de precipitaciones muy escasos, por lo que es muy difícil realizar una verificación; b) en el caso del viento, se da una problemática similar, ya que existen muy pocas estaciones con anemómetros, y, aunque en la red SIAM todas las estaciones incorporan un anemómetro, este, no está colocado dentro del estándar de altura que determina la Organización Meteorológica Mundial, 10 metros sobre el suelo, por lo que no podrían validarse sus datos; c) otros riesgos meteorológicos, como las tormentas o las nieblas, no se pueden medir, y en muchos casos, tienden a ser muy locales, resultando muy complicada su validación. En conclusión, se ha optado por las temperaturas máximas. Se ha preferido estas a las temperaturas mínimas, por haber una mayor cantidad de avisos emitidos, de cara a poder aplicar esta metodología preliminar al mayor número de episodios.

Al tratarse de bases de datos distintas se ha procedido a una homogeneización de las tablas que permite realizar el análisis en todo su conjunto. Posteriormente, mediante un análisis condicional se han filtrado únicamente los días que superan un umbral de temperatura y las jornadas en las cuales se activó un aviso por temperaturas máximas. Cabe mencionar que la información sobre los avisos meteorológicos ha sido suministrada por AEMET y ha sido filtrada según el nivel de aviso de ese día.

Es necesario aclarar una serie de cuestiones relacionadas con los umbrales de riesgo dispuestos por AEMET (Tabla 3): a) No solo se emiten a partir de los umbrales mínimos, es decir, que si el aviso naranja esta entre los 40°C y los 43,99°C, se puede emitir perfectamente para temperaturas superiores a los 41°C; b) originalmente, los umbrales mínimos por temperaturas máximas tenían la misma estructura que los avisos existentes, en aquel momento, en la delimitación del Mar Menor y Mazarrón, es decir, 36 °C para el amarillo, 39 °C en el caso del naranja y 42 °C para el rojo (el 9 de julio de 2013 entró en vigor una nueva versión del Plan

Meteoalerta, concretamente la versión 5, que estableció los umbrales actuales, cuestión tenida en cuenta en esta investigación); c) no existe, como tal, un umbral máximo dentro de los avisos, sin embargo, es necesario definirlo de cara al análisis, ya que las mediciones de la red SIAM tienen dos dígitos decimales. Por otro lado, se ha optado por los 50 °C como umbral máximo en el rojo.

Tabla 3. Umbrales para el riesgo de temperaturas máximas en la región de Murcia

<i>Áreas/Umbrales</i>	<i>Aviso amarillo</i>	<i>Aviso naranja</i>	<i>Aviso rojo</i>
Altiplano de Murcia	Mín: 38 °C Máx:39,99 °C	Mín:40 °C Máx:43,99 °C	Mín: 44 °C Máx: 50 °C
Noroeste de Murcia	Mín: 38°C Máx: 39,99 °C	Mín: 40 °C Máx: 43,99 °C	Mín: 44 °C Máx: 50 °C
Vega del Segura	Mín: 38 °C Máx: 39,99 °C	Mín: 40 °C Máx: 43,99 °C	Mín: 44 °C Máx: 50 °C
Valle del Guadalentín, Lorca y Águilas	Mín: 38°C Máx:39,99°C	Mín: 40 °C Máx: 43,99 °C	Mín: 44 °C Máx: 50 °C
Campo de Cartagena y Mazarrón	Min: 36 °C Máx: 38,99 °C	Mín: 39 °C Máx: 41,99 °C	Mín: 42 °C Máx: 50 °C

Leyenda: Esta tabla muestra los actuales avisos del Plan Meteoalerta, aunque a lo largo del periodo de la muestra analizada han variado, tal y como se ha indicado en el texto.

Fuente: elaboración propia a partir del Plan Meteoalerta. Versión 5. (2013)

Tras la unión de las temperaturas y los avisos, se ha procedido a establecer los criterios que determinaran las operaciones utilizadas para seguir con el tratamiento de los datos. Dentro de esta fase existen cuatro situaciones (Tabla 4): a) aciertos; b) falsos avisos; c) fallos de tipo 1; y d) fallos de tipo 2.

Los aciertos (A) se corresponderían con aquellos casos donde la temperatura prevista en el aviso se ha observado posteriormente. No se trata de temperatura exacta por lo que esta podría situarse, por ejemplo, entre los 38 °C y los 38.99 °C. Los falsos avisos (FA) serían aquellas situaciones en la que la temperatura observada (TO) se ha quedado por debajo de la temperatura prevista (TP), en definitiva, se ha producido una sobreestimación. En esos casos se restará la diferencia entre la temperatura observada y la prevista, siendo por tanto siempre valores negativos. Los fallos de tipo 1 (FT1), serán aquellos donde sin haberse emitido ningún aviso se ha observado una temperatura por encima de los umbrales de riesgo. En esta figura se

restará la temperatura observada a la temperatura mínima del umbral (TMA), de tal manera que si, por ejemplo, se ha registrado una temperatura de 38.7 °C en Lorca y el umbral mínimo del aviso amarillo es de 38 °C, el valor de ese fallo es de 0.7 °C. Por último, los fallos de tipo 2 (FT2) serán aquellos donde la temperatura observada ha sido superior a la prevista y, por tanto, se ha infravalorado la situación atmosférica. Para calcular el valor de este fallo se restará la temperatura observada al umbral máximo de la temperatura prevista. Por ejemplo, si la temperatura prevista era de 38 °C y se han registrado 41 °C, el resultado de ese fallo será 2.01 °C. La suma de los falsos avisos, los fallos de tipo 1 y los fallos del tipo 2 nos dará la desviación de la temperatura (DT) en grados centígrados (°C), con respecto a la que estaba prevista.

Tabla 4. Figuras de revisión de temperaturas observadas y temperaturas previstas

<i>Situación</i>	<i>Condición</i>	<i>Ecuación</i>	<i>Ejemplo</i>
Acierto (A)	$TO = TP$		Se ha previsto un aviso amarillo por temperaturas máximas de 38°C y se ha observado esa temperatura (desde 38,00°C hasta 38,99°C)
Falso Aviso (FA)	$TO < TP$	$TO - TP = FA$	Se ha previsto un aviso amarillo por temperaturas máximas de 38°C y se ha observado una temperatura de 37,5°C
Fallo Tipo 1 (FT1)	$TO > MTA$	$TO - MTA = FT1$	No se ha previsto ningún aviso, pero se ha observado una temperatura superior a los 38°C
Fallo Tipo 2 (FT2)	$TO > TP$	$TO - TP = FT2$	Se ha previsto un aviso amarillo por temperaturas máximas de 38°C y se ha observado una temperatura de 40,5°C
La suma de todos ellos será igual a la desviación de la observación con respecto a la previsión en grados centígrados (DT). $DT = FA + FT1 + FT2$			

Fuente: elaboración propia

Para completar el proceso de verificación se ha procedido a utilizar de manera modificada los indicadores y la metodología utilizados por AEMET, ya anteriormente comentados en el marco teórico. Esta transformación se debe a dos motivos. Primero, la metodología usada por dicho organismo no tiene en cuenta los fallos de tipo 2, lo que implicaría dejar fuera de las operaciones de cálculo a gran parte de la muestra de datos. Segundo, ese procedimiento

simplifica los niveles de aviso a dos, por un lado, los niveles verde y amarillo, y por otro, los niveles naranja y rojo. Sin embargo, solo se consideraría como aviso a estos últimos, discriminando totalmente el aviso amarillo. Esto supone eliminar de la revisión a la mayor parte de los avisos emitidos.

Por tanto, en nuestro caso, se tienen en cuenta todos los avisos de la misma forma. La inclusión de los fallos de tipo 2, no tienen importancia en la probabilidad de detección (PD), ni en la probabilidad de falsas alarmas (PFA), pero sí en el índice crítico de aciertos (CSI), donde habría que incluir en el denominador ese tipo de fallos (Tabla 5). De no ser así, las tasas de acierto serían mucho mayores, puesto que no se tendría en cuenta parte de los errores de la predicción.

Tabla 5. Comparativa del Índice Crítico de Acierto

<i>Índice Crítico de Acierto</i>	<i>Índice Crítico de Acierto Modificado</i>
$CSI = \frac{SS}{SS + SN + NS}$	$CSI_m = \frac{A}{A + FA + FT1 + FT2}$

Fuente: elaboración propia

Por último, para la elaboración de los mapas se ha optado por una interpolación de la distancia inversa ponderada, más conocida por el acrónimo en inglés de *Inverse Distance Weighted*, IDW. Se trata de un método determinista en que la variable que se quiere representar disminuye su influencia según nos alejamos de una ubicación. Todos los mapas tienen una escala de 1:1 000 000 y el sistema de referencia utilizado ha sido el ETRS89 en el Huso 30N.

3 Resultados

El estudio de las series de temperatura y de los avisos meteorológicos ha permitido conocer el grado de acierto de estos, así como su desviación. Probablemente, la información más interesante sea esta última, ya que, nunca se suele tener en cuenta, la importancia que supone poder corregir el gran número de falsas alarmas y de fallos existentes provocados por unos umbrales inadecuados, o bien, por una distribución zonal de los avisos poco precisa. Se ha pretendido condensar y sintetizar toda la información a partir de una serie de mapas y tablas que puedan mostrar de manera visual el resultado de este estudio. Primero, se realizará un análisis

según las dos fuentes de datos utilizadas para este trabajo y, seguidamente, se tratará cómo han evolucionado los índices de verificación y la anomalía térmica durante los años de estudio de esta investigación. En una segunda fase, se ha optado por un análisis espacial de los resultados obtenidos, inicialmente a través de una tabla con la distribución espacial de los avisos y, finalmente, con un análisis cartográfico obtenido a partir de la interpolación de los distintos índices.

3.1 Análisis por fuentes de datos

Como ya se ha comentado anteriormente, se han utilizado dos bases de datos con características en la ubicación de las estaciones sensiblemente distintas. Por un lado, estaría la red de estaciones pertenecientes a AEMET, donde se prioriza tener una muestra lo más heterogénea posible de los distintos tipos de clima existentes en la Región de Murcia, así como de los distintos entornos existentes (urbanos, rurales, marítimos, etc.). Es por ello, que es común encontrarnos con distintas estaciones en un mismo municipio, aunque en diferentes localizaciones y con climas manifiestamente dispares. La red SIAM, en cambio, tiene como objetivo estimar la evapotranspiración de referencia (ETO) y las necesidades de riego de los cultivos en la región de Murcia. Los observatorios se ubican, principalmente, en fincas agrícolas privadas, especialmente con cultivos de regadío, por lo que el entorno suele ser mucho más homogéneo. También es común, al igual que el anterior caso, que pueda haber varias estaciones por municipio.

A priori, se preveía que las anomalías térmicas fuesen menores en el global de todas las estaciones pertenecientes a la AEMET, por esa mayor variabilidad de localizaciones y entornos, con respecto a la red SIAM. Sin embargo, la media obtenida del análisis entre las temperaturas previstas y observadas de las estaciones de ambos organismos muestran lo contrario (Tabla 6). Las mayores diferencias se observan en la anomalía térmica, donde la media de AEMET es 0.45°C mayor que la del SIAM. El resto de valores son similares, la PFA corrobora esa elevada sobreestimación de los avisos, mientras que el CSIm demuestra un valor muy bajo en el número de aciertos. La PD es sensiblemente mayor en el caso del SIAM, aunque siguen siendo unos valores bajos.

Tabla 6. Resultados de los índices de verificación y desviación con la temperatura prevista según las bases de datos utilizadas

	<i>Desviación (°C)</i>	<i>PFA</i>	<i>PD</i>	<i>CS/m</i>
<i>SIAM</i>	-1,29	0,82	0,59	0,13
<i>AEMET</i>	-1,74	0,81	0,55	0,14

Fuente: elaboración propia

Si analizamos el ranking con las mayores anomalías positivas (Tabla 7), dejando claro que se tratan de medias aritméticas obtenidas de un periodo de ocho años, se aprecia cómo en ningún caso las estaciones que han registrados esa mayor desviación se corresponden con entornos urbanos, proclives a un recalentamiento producido por la actividad humana. Además, se demuestra que, a pesar de ese recalentamiento, si lo hubiera, la temperatura observada seguiría siendo inferior a la prevista, al menos en los datos medios. Ello no implica que pueda haber episodios puntuales donde los registros de zonas urbanas se disparen y queden por encima de lo mostrado en la predicción.

Destaca también, que las mayores anomalías se registran en una zona concreta, el interior del Campo de Cartagena, en un área más alejada del influjo de la costa y con características térmicas distintas. Hay que recordar que, en su delimitación, el umbral mínimo se sitúa en los 36°C, y no en los 38°C, como en el resto. Muy probablemente tiene mayor similitud con la Vega del Segura, que en la delimitación actual. Un estudio con mayor profundidad, basado en el cálculo de percentiles, podría servir para realizar una delimitación más acorde. Además, el ranking muestra otros puntos, más localizados, donde las anomalías son también positivas. En el caso de Rotas, El Hinojar, La Vereda y Alcantarilla, son ubicaciones situadas en zonas amplias de valle, donde el calor tiende a concentrarse sobre todo en episodios de poniente. Casas Nuevas se ubica también en un valle de montaña entre sierra Espuña y la sierra del Cambrón. El caso más anecdótico sería la desviación térmica medida en Santiago de la Ribera, muy superior a la registrada por la estación de AEMET, que se localiza a tan solo 1,5 kilómetros de esta, ya que, en general, las temperaturas observadas en lugares litorales suelen quedar siempre por debajo de lo previsto, debido precisamente al efecto de la brisa marina.

Tabla 7. Ranking con las mayores anomalías positivas entre las temperaturas previstas y las temperaturas observadas por fuente de datos

<i>AEMET</i>	<i>Anomalía (°C)</i>	<i>SIAM</i>	<i>Anomalía (°C)</i>
Fuente Álamo (Balsapintada)	1,21	Fuente Álamo (C. de Abajo)	1,08
Torre Pacheco (C.C.A.)	0,49	Fuente Álamo (Balsapintada)	0,90
Mula (Casas Nuevas)	0,24	Calasparra (Rotas)	0,66
Alcantarilla	0,19	Murcia (La Vereda)	0,43
Lorca (El Hinojar)	0,12	San Javier (S. de la Ribera)	0,36

Fuente: elaboración propia

3.2 Evolución de los porcentajes de aciertos e índice de verificación entre los años 2010 y 2017

Para una mejor comprensión de los resultados y de la evolución de los valores porcentuales se han añadido unas columnas con la variación interanual (+/-), así como una fila donde se comparan los valores calculados entre los años 2010 y 2017 (Tabla 8). Es necesario recordar que en el año 2013 se realizó una modificación de los umbrales por temperaturas máximas en la región de Murcia en plena temporada de este FMA. A ello, hay que sumar que fue un verano muy suave por lo que, en comparación con el resto de la serie, es el año con menor número de avisos emitidos y observados, de ahí sus valores tan anómalos.

Si nos centramos en los aciertos se aprecia un aumento de un 18 % entre los años 2010 y 2017. Se denota, además, una tendencia al incremento leve del número de aciertos, tal y como queda reflejada en la variación interanual. En cambio, el porcentaje de falsas alarmas (FA) también se ha incrementado, aunque de forma mucho más ligera que el anterior, un 0,96 %. No se aprecia tampoco, una dinámica de mejora ya que los datos obtenidos de la variación interanual muestran un movimiento muy errático.

Los fallos de tipo 1, es decir, aquellos donde se ha observado una temperatura máxima que ha llegado al umbral mínimo del aviso amarillo y sin emisión de una alerta, han descendido considerablemente, un 17,4 %. Sin embargo, los fallos de tipo 2 han experimentado un descenso muy leve, tan solo un -0,5 %.

A excepción de los aciertos y los fallos de tipo 1, no se denota una diferencia de mejora entre la versión actual de los umbrales por temperaturas máximas y la anterior. Siguen predominando las falsas alarmas, es decir, sigue habiendo una elevada sobreestimación de los avisos, a pesar de que el número de alertas se ha reducido considerablemente al tener unos umbrales más altos. El

hecho de tener un umbral mínimo de 36 °C hacía que, por ejemplo, en el verano meteorológico de 2012, se activaran avisos en la delimitación de la Vega del Segura hasta en 41 ocasiones, es decir, el 44,5 % de los días de esa estación estuvo activado un aviso por temperaturas máximas. También se observa cómo, en general, los fallos de tipo 2, aquellos donde la temperatura prevista se ha quedado por debajo de la observada a pesar de haber emitido un aviso, son mayores que en la anterior versión, lo que da pie también a un aumento de la infravaloración.

Tabla 8. Evolución de los porcentajes de aciertos, falsas alarmas (FA), fallos de tipo 1 (FT1) y fallos de tipo 2 (FT2) entre los años 2017 y 2010

	<i>Aciertos</i>	<i>+/-</i>	<i>FA</i>	<i>+/-</i>	<i>FT1</i>	<i>+/-</i>	<i>FT2</i>	<i>+/-</i>
<i>2017</i>	13,79	3,5	60,89	-4,0	12,4	10,7	12,89	7,3
<i>2016</i>	13,33	3,2	63,42	23,5	11,2	-24,4	12,01	-42,4
<i>2015</i>	12,92	28,4	51,37	-27,6	14,9	16,2	20,85	237,9
<i>2014</i>	10,06	158,7	70,98	-18,3	12,8	82,5	6,17	175,0
<i>2013</i>	3,89	-68,5	86,86	39,2	7,0	-44,7	2,24	-82,2
<i>2012</i>	12,35	19,9	62,41	-0,9	12,7	-32,6	12,57	58,6
<i>2011</i>	10,30	-11,9	62,98	4,4	18,8	24,8	7,93	-38,8
<i>2010</i>	11,69		60,31		15,1		12,95	
<i>Anomalía 2010– 2017</i>	18,00		0,96		-17,4		-0,5	

Fuente: elaboración propia

Sin embargo, no es posible realizar este análisis temporal con los índices de verificación que utiliza AEMET, tal y como indica Del Pino Corredra (2016), ya que están muy influenciados según la cantidad de FMA observados, por lo que se puede caer en conclusiones totalmente erróneas. A mayor número de episodios observados, mayor será la PD y el CSIm, mientras que la PFA será menor. Este estudio sí podría ser realizado ya que se trata de datos porcentuales. No obstante, sí existe un elemento que puede ser utilizado para conocer cómo ha evolucionado la verificación de los avisos a partir de la anomalía térmica existente entre la temperatura prevista en los avisos y la temperatura observada.

Como se puede distinguir en la Tabla 9, en todos los años la desviación térmica es negativa, cuestión ya apreciada anteriormente por el elevado número de falsas alarmas. En los últimos tres años se aprecia una tendencia ascendente de la anomalía, siendo el año 2015 el que menos desviación de toda la serie ha registrado con 0,75 °C. Sin contar con 2013, debido al carácter térmico anteriormente comentado, destaca los -2,16 °C de desviación térmica registrados en

2014. También se distingue una mejoría de los datos en el periodo posterior a la última renovación (2014–2017), con respecto al anterior periodo de umbrales unificados.

Tabla 9. Evolución de los índices de verificación y desviación con la temperatura prevista entre los años 2010 y 2017

	<i>PFA</i>	<i>PD</i>	<i>CSIm</i>	<i>Anomalía (°C)</i>
<i>2017</i>	0,77	0,65	0,14	-1,37
<i>2016</i>	0,79	0,68	0,13	-1,17
<i>2015</i>	0,75	0,63	0,13	-0,75
<i>2014</i>	0,85	0,42	0,10	-2,16
<i>2013</i>	0,95	0,62	0,04	-2,81
<i>2012</i>	0,80	0,64	0,12	-1,42
<i>2011</i>	0,81	0,41	0,10	-1,84
<i>2010</i>	0,79	0,53	0,12	-1,33

Fuente: elaboración propia

3.3 Análisis a partir de las delimitaciones zonales propuestas por AEMET

En este apartado se pretende analizar cuáles han sido los resultados obtenidos a nivel global, tanto en el conjunto de la región de Murcia, como en las áreas delimitadas por la AEMET (Tabla 8). Los datos obtenidos muestran que los avisos por altas temperaturas en la región de Murcia tienen una desviación de -1,54 °C, lo que viene a indicar una sobreestimación de las previsiones con respecto a la situación observada posteriormente. Este hecho también se puede comprobar a partir de la probabilidad de falsas alarmas (PFA), que se sitúa cerca de 1, lo que implica que la proporción de falsas alarmas en las situaciones previstas es muy alta. La probabilidad de detección (PD) se sitúa en 0,64, lo que viene a indicar un alto porcentaje de fallos, es decir, de situaciones donde no se ha emitido ningún aviso, pero sí se ha observado una temperatura que ha traspasado el umbral mínimo. Por último, el índice crítico de acierto modificado (CSIm) tiene un valor de 0,16, una tasa muy baja para este tipo de predicciones.

Tabla 10. Resultados de los índices de verificación y desviación con la temperatura prevista según la delimitación espacial del Plan Meteoalerta

	<i>Desviación (°C)</i>	<i>PFA</i>	<i>PD</i>	<i>CSIm</i>
<i>Altiplano de Murcia</i>	-0,73	0,72	0,61	0,24
<i>Noroeste de Murcia</i>	-1,78	0,82	0,61	0,14
<i>Campo de Cartagena y Mazarrón</i>	-1,44	0,80	0,64	0,15
<i>Valle del Guadalentín, Lorca y Águilas</i>	-2,53	0,87	0,66	0,11
<i>Vega del Segura</i>	-1,19	0,79	0,67	0,17
<i>Media</i>	-1.54	0,80	0,64	0,16

Fuente: elaboración propia

Desde el punto de vista de las áreas delimitadas por AEMET para emitir los avisos vemos cómo el Altiplano es la zona que tiene una menor desviación (-0,73 °C), lo cual puede ser debido a su escasa heterogeneidad climática. Destaca también que sea el área con una PFA más baja (0,72), al igual que la PD (0,61) y, sin embargo, sea la que mayor CSIm tiene (0,24). Es necesario recordar que el primero es un índice inverso, cuanto más se acerca a cero menos sobreestimaciones de las predicciones ha habido. Si realizamos un análisis con mayor profundidad podemos distinguir cómo el elevado número de aciertos se ha debido a un bajo número de situaciones sobrestimadas, y a su vez, los casos donde ha habido una infravaloración de un episodio de temperaturas altas han sido escasos. El factor discordante sería PD, que mostraría que ha habido un elevado número de situaciones en las cuales se ha llegado a los umbrales de aviso y no se ha emitido ninguna alerta. El Noroeste es la segunda zona que más desviación térmica registra con -1,78 °C, su PFA se sitúa en 0,82, mientras que su PD queda establecida en el 0,61, al igual que el anterior. Sin embargo, su CSIm es muy bajo (0,14), influenciado por un escaso número de aciertos. Esto puede ser debido, como veremos posteriormente, a una fuerte heterogeneidad climática del área, ya que también aparece un número reseñable de fallos de tipo 1. En el Campo de Cartagena y Mazarrón nos encontramos con una desviación térmica de -1,44 °C, a pesar de que es un área con unos umbrales de riesgo aún menores a los del resto de zonas. Este valor ya nos anticipa una sobreestimación de los avisos, hecho que se corrobora también con un valor de 0,80 en la PFA. Sin embargo, nos encontramos una PD nuevamente baja (0,64), en una zona aparentemente muy homogénea y con unos episodios de FMA por temperaturas máximas muy escasos, por lo que se intuye la existencia de polos cálidos, que registran temperaturas más altas que su entorno. Nuevamente la tasa de CSIm es muy baja, llegando tan solamente a un 0,15. El caso del Valle del Guadalentín y Águilas muestra a la perfección la influencia y predominancia de un área climática sobre otras, lo

que puede enmascarar algunas conclusiones. En esta se aprecia cómo es la zona que registra una mayor anomalía ($-2,53\text{ }^{\circ}\text{C}$), con una alta tasa de PFA (0,87) y una menor cifra en el CSIm (0,11). Hay que tener en cuenta que es un área de fuertes contrastes, como ya se ha comentado antes, donde muy probablemente tengan mucho más peso las anomalías registradas en el altiplano lorquino y en el litoral, que las anotadas en el Valle del Guadalentín, propiamente dicho, con una media de temperatura más alta. Es por ello, que es necesario tener una muestra lo más heterogénea posible y repartida por todo el territorio, para que, de esta manera, puedan estar representados el mayor número de diferencias climáticas posibles. Por último, en el caso de la Vega del Segura, la delimitación más cálida, donde nos encontramos ante el segundo registro de CSIm más alto (0,17), lo que atestigua un elevado número de aciertos, hecho que tiene más valor al ser la zona donde más FMA por altas temperaturas se registran y se prevén. Además, la PD es la más alta de todo el conjunto (0,67), lo que indica una alta tasa de detección de los episodios, aunque los niveles de PFA siguen mostrando esa sobreestimación de los avisos (0,79), hecho que también se puede visualizar en la anomalía térmica ($-1,54\text{ }^{\circ}\text{C}$).

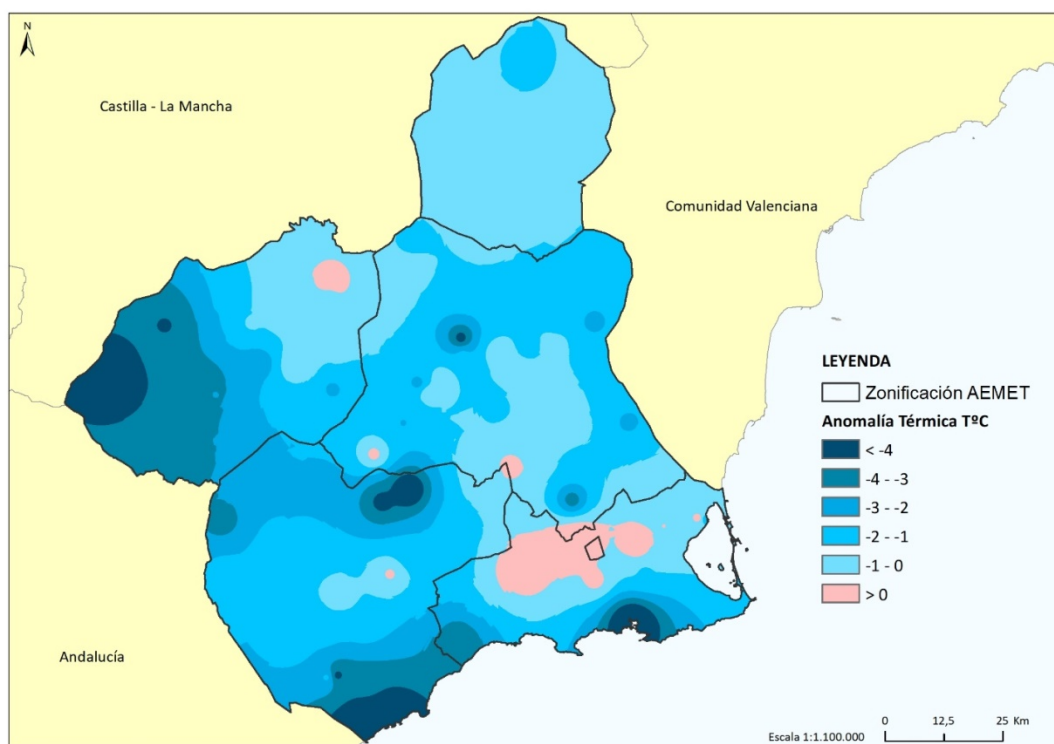
3.4 Análisis cartográfico de los índices de verificación y anomalía térmica obtenidos.

A partir de la obtención de los índices de verificación y anomalía térmica, entre la temperatura prevista y la temperatura observada de cada estación meteorológica utilizada en este estudio, se ha procedido a la interpolación de estos para realizar una serie de mapas. Ello permite conocer de manera muy visual cuáles son las zonas donde hay mayor problemática para, por ejemplo, la detección de un episodio de temperaturas máximas muy altas. Esta metodología también puede ser útil como base para realizar una propuesta de mejora del actual plan, principalmente en el apartado de los umbrales.

De todos los mapas, el más representativo es, probablemente, el de anomalía térmica (Figura 2), ya que muestra de forma concisa las áreas donde hay una mayor dispersión entre la temperatura máxima prevista y la observada, además, su utilidad puede ir más allá del simple estudio de los avisos meteorológicos, ya que puede servir, por ejemplo, para conocer polos cálidos. Se puede apreciar cómo prácticamente la totalidad del mapa tiene unas anomalías negativas, destacando principalmente el extremo occidental de la región de Murcia. Esta zona es un altiplano, con altitudes en llano superiores a los 1000 metros, donde muy difícilmente se puede llegar a los valores previstos por el propio gradiente térmico existente. Realizando una pequeña comparación podemos ver cómo, por ejemplo, para que se llegase al umbral mínimo de aviso amarillo en el núcleo de población de Inazares (Moratalla), situada en el extremo occidental de la

región de Murcia, con una anomalía de más de -4°C , sería necesario emitir un aviso por temperaturas superiores a los 42°C en el Noroeste. Este problema se repite también en las principales áreas montañosas de la Región de Murcia, como sierra Espuña, sierra de Ricote e incluso Carrascoy. Sin embargo, esta anomalía la encontramos también en la costa, sobre todo en los municipios de Águilas y Cartagena, debido a la influencia suavizadora que ejerce el mar en las temperaturas. Por el contrario, las zonas con temperaturas positivas se ubican solo en áreas muy puntuales, y, a mayor escala, en el interior del Campo de Cartagena. Como vemos, en una misma área climática de AEMET, nos encontramos con dos polos totalmente opuestos, evidencia que demuestra las carencias en esta delimitación espacial de los avisos.

Figura 2. Mapa resultante de la interpolación de la anomalía térmica

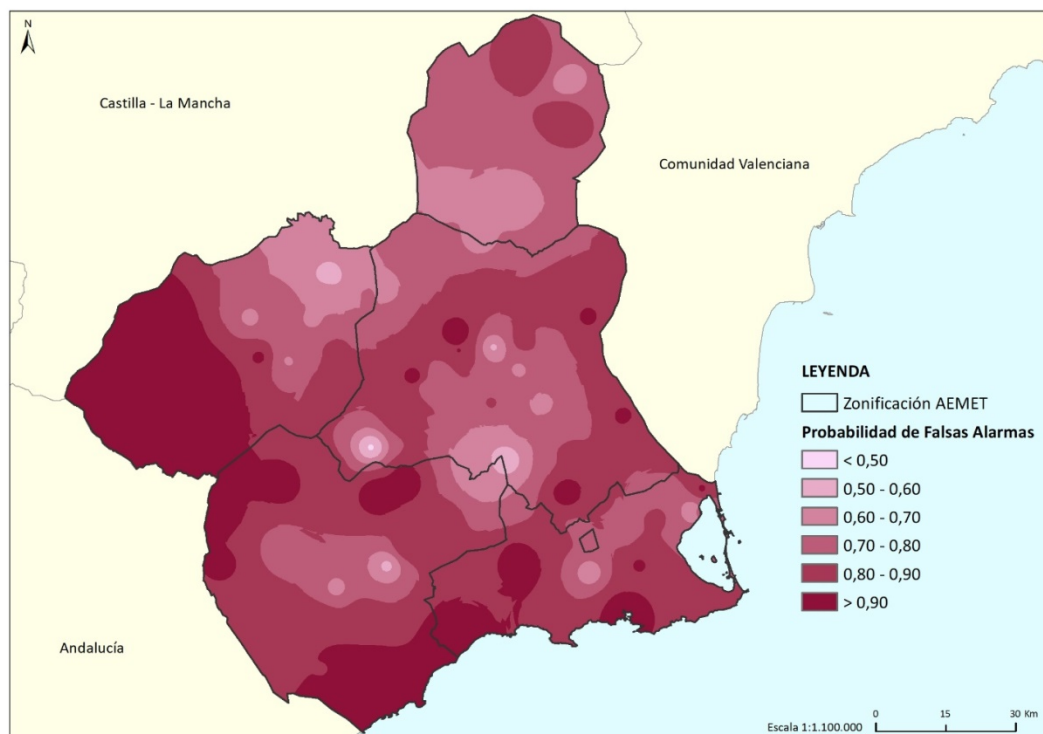


Fuente: elaboración propia

El mapa con los resultados de la interpolación de la PFA (Figura 3) también muestra detalles muy relevantes. Hay que tener en cuenta que algunas zonas, como el extremo occidental de la provincia y amplios sectores de la costa, tienen una tasa superior a 0.90, es decir, que gran parte de la totalidad de los episodios por temperaturas máximas previstas no han llegado a observarse en esas áreas. En general, se muestran valores de sobreestimación muy altos en todo el territorio, aspecto que ya se podía intuir a partir del anterior mapa. Los valores más bajos

se localizan, principalmente, en las zonas con una menor anomalía térmica, en definitiva, las áreas con una media de temperatura máxima estival más alta.

Figura 3. Mapa resultante de la interpolación de la PFA

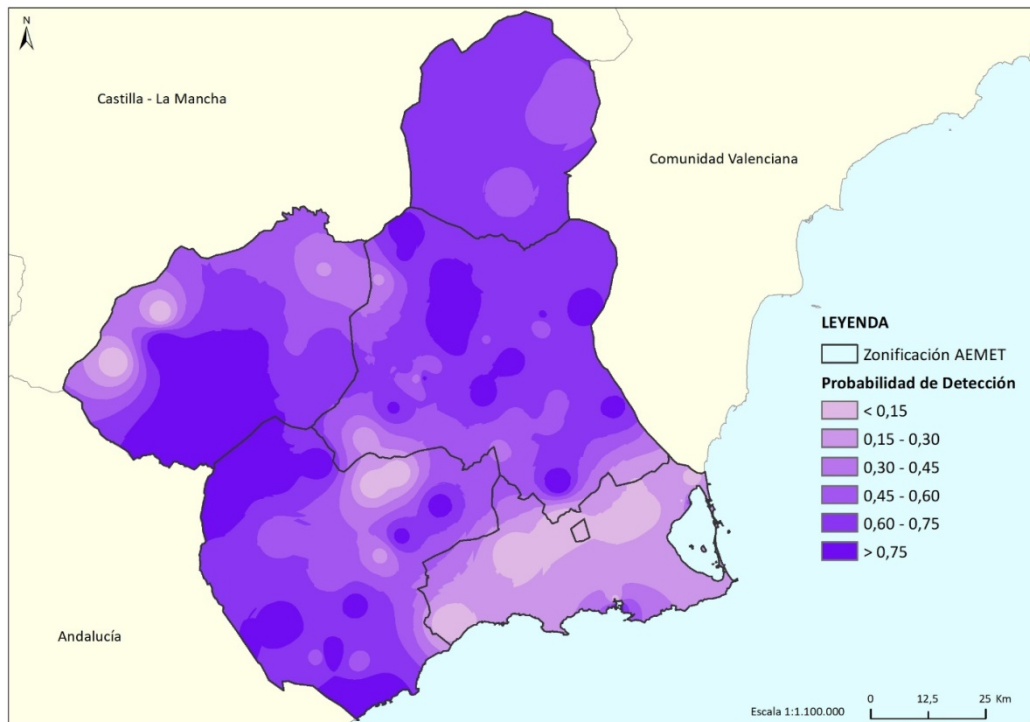


Fuente: elaboración propia

La representación cartográfica de la interpolación del PD (Figura 4) muestra que el área con unos mayores valores se ubica en el altiplano localizado entre el campo de Caravaca y las Tierras Altas de Lorca, así como, puntualmente, en algunas zonas de la Vega del Segura y en el extremo septentrional de la Región de Murcia. Sin embargo, cuando nos centramos a analizar los valores más bajos podemos caer en algunas conclusiones erróneas. Es necesario utilizar todos los índices de verificación en un mismo contexto. Por ejemplo, se aprecia cómo en algunos puntos del Noroeste los valores se encuentran en el umbral de < 0.15 , pero esto no es debido a que no se hayan previsto algunos episodios por temperaturas máximas, que sí han sido observados posteriormente, sino a que directamente no ha habido ningún acierto en todo el periodo de estudio, por lo tanto, el valor es 0. De la misma manera, también será 0 en el CSI_m. Esto es debido a que en su fórmula el numerador es la cantidad de aciertos o éxitos, por lo que, ante la ausencia de este factor, siempre será 0. Conclusión distinta es la que se extrae en el caso del Campo de Cartagena, que es el área que tiene unos valores más bajos, ya que, si nos fijamos en el anterior mapa (Figura 3), la mayor parte de esa zona no tenía el umbral más alto en

la PFA, es decir, se han reportado aciertos, porque, si no, el valor sería 1. Por tanto, esos valores tan escasos se deben a que en esa área hay una gran cantidad de días o episodios donde, sin haberse previsto, la temperatura ha sobrepasado el umbral mínimo del aviso amarillo.

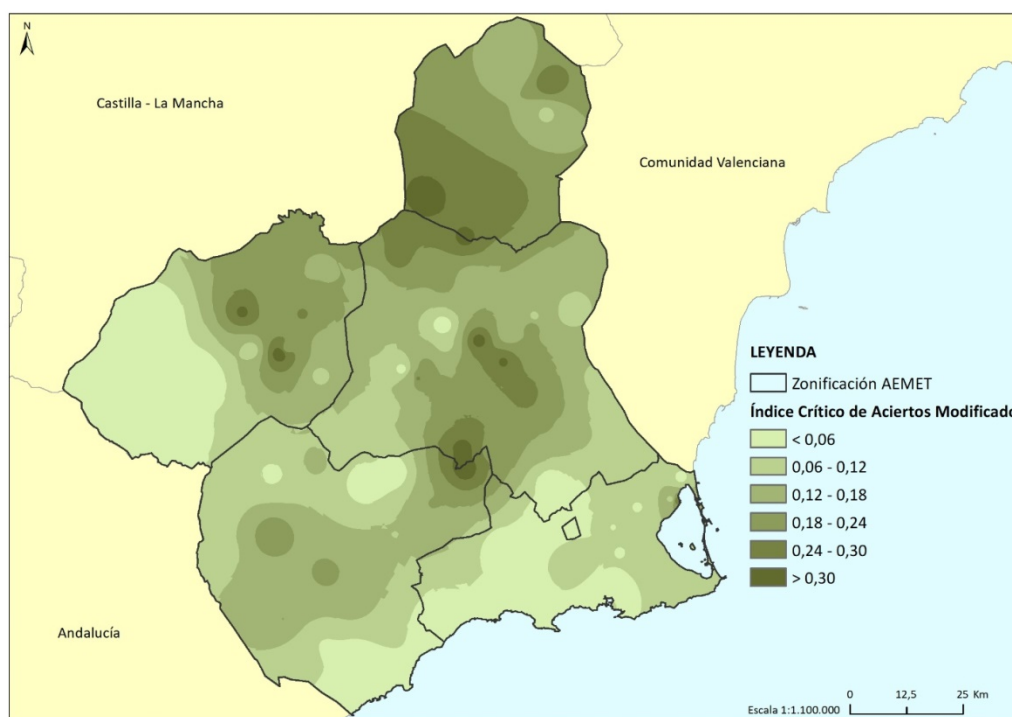
Figura 4. Mapa resultante de la interpolación de la PD



Fuente: elaboración propia

Por último, el mapa con la interpolación del CSIm (Figura 5) refleja, en definitiva, cuáles son las áreas con un mayor número de aciertos, a pesar de ser unos valores, como ya se han comentado anteriormente, muy bajos. Destaca, sobre todo, el Altiplano y, de forma más localizada, algunos puntos de la Vega del Segura. Las áreas con unas tasas más bajas se hallan, como ya se ha intuido en el resto de mapas, en el Noroeste, zonas montañosas y gran parte del litoral.

Figura 5. Mapa resultante de la interpolación de la CSIm



Fuente: elaboración propia

4 Conclusiones

La modificación de la metodología utilizada por AEMET para la verificación de los avisos, basada en el uso de todas las categorías, incluidas las prealertas o avisos amarillos y, la introducción de los fallos de tipos 2 para los episodios donde la previsión ha quedado por debajo del valor observado, ha reflejado un escaso número de aciertos. La estimación de la anomalía térmica ha permitido conocer de forma cuantitativa la desviación entre la temperatura prevista y la observada, la cual constituye un elemento de gran importancia a la hora de otorgar un valor a esa problemática.

La elevada PFA muestra la gran sobreestimación existente en la predicción de los avisos, una anomalía que ya se encontraba en la anterior distribución de los umbrales, y que en menor medida ha heredado el actual sistema. Además, este problema lastra los demás índices, sobre todo el CSIm, que refleja unos valores excesivamente bajos, teniendo en cuenta que esta tasa considera tanto los episodios previstos como los observados. El origen de este problema estaría ligado a la delimitación de las zonas donde se emiten los avisos, y no tanto con los umbrales en sí, ya que, una bajada en los valores de estos nos conduciría de nuevo a un elevado número de días con alertas.

El uso de dos fuentes de datos distintas, con características diferentes en la ubicación de las estaciones meteorológicas ha permitido extrapolar este estudio a distintos ámbitos. Al contrario de lo previsto, las estaciones situadas en entornos urbanos, no muestran una tendencia que indique que en esas áreas los avisos infravaloren la temperatura observada. Estas, muestran también un elevado número de falsas alarmas y un bajo porcentaje de fallos de tipo 2.

La utilización de mapas interpolados ha servido para poder mostrar de forma gráfica cuáles son las áreas donde hay una menor o mayor incidencia de cada índice. En el caso de la anomalía térmica, que probablemente sea el mapa más representativo, se ha observado la gran influencia del relieve con respecto al clima. Las áreas con una altitud mayor, y por tanto, con una temperatura media de las máximas estivales más bajas, reflejan importantes desviaciones térmicas negativas, al igual que el litoral, influenciado por la brisa marina. En cambio, las áreas donde se muestra una mayor infravaloración, es decir, una anomalía positiva, son, por lo general, zonas muy localizadas ubicadas en valles y a sotavento de grandes relieves. La necesidad de tener en cuenta todos los mapas es vital de cara a no desarrollar conclusiones que puedan ser erróneas. La PD, por ejemplo, se muestra especialmente alta en áreas montañosas, pero no debido a un elevado número de aciertos, sino a la inexistencia de fallos de tipo 1. Un detalle muy significativo que se ha podido observar con el CSIm es que el área con un clima más homogéneo es la que en definitiva tiene un mayor número de aciertos.

El escaso número de estudios que abarcan esta temática da cabida a poder seguir trabajando en esta materia desde distintos contextos y ámbitos, como puede ser el diseño de unos nuevos umbrales, la creación de otra zonificación e incluso la elaboración de otra metodología integral. Con ello no se pretende menospreciar el actual sistema de avisos, al contrario, se pretende indagar en cuáles podrían ser las mejoras potenciales a realizar, de cara a poder mejorar un servicio que está ligado a la protección civil.

Declaración responsable: Las/os autoras/es declaran que no existe ningún conflicto de interés con relación a la publicación de este artículo. La redacción del artículo, la producción cartográfica, la revisión bibliográfica y el análisis de los datos ha sido realizado por J. Martí. La tutorización y revisión del artículo ha corrido a cargo de E. Moltó, mientras que E. Sánchez ha revisado y asesorado sobre el contenido cartográfico.

Bibliografía

- Alcázar Izquierdo, A. (2010). Planes de Aviso. La experiencia de AEMET. Jornada Técnica de Inundaciones Episodios del Invierno 2009/2010. Retrieved from <http://docplayer.es/45451758-Planes-de-avisos-la-experiencia-de-aemet-angel-alcazar-jefe-apro-jornada-tecnica-de-inundaciones-episodios-del-invierno-2009-2010.html>
- Barnes, L. R., Schultz, D. M., Grunfest, E. C., Hayden, M. H., & Benight, C. C. (2009). Corrigendum: False alarm rate or false alarm ratio? *Weather and Forecasting*, 24(5), 1452–1454. <https://doi.org/10.1175/2009WAF2222300.1>
- Belda Esplugues, F. (2012). *Predicción Meteorológica, problemas clásicos y nuevos retos*. Agencia Estatal de Meteorología. Retrieved from <http://www.proteccioncivil.es/catalogo/guiastecnicas/jornadas-tecnicas-informacion-poblacion/presentaciones/p3.pdf>
- Brier G. W., & Allen R. A. (1951). Verification of weather forecasts. In T.F. Malone (Eds.), *Compendium of Meteorology* (pp. 841-848). Boston: American Meteorological Society. https://doi.org/10.1007/978-1-940033-70-9_68
- Camarasa-Belmonte, A. M., & Butrón, D. (2016). Umbrales de lluvia, daños y niveles de alerta en la Comunidad Valenciana. In J. Olcina Cantos, A. M. Rico Amorós & E. Moltó Mantero (Eds.), *Clima, sociedad, riesgos y ordenación del territorio* (pp. 485-494.). Alicante: Instituto Interuniversitario de Geografía, Universidad de Alicante. Sevilla: Asociación Española de Climatología.
- Daan, H. (1984). Scoring rules in forecast verification. *World Meteorological Organization Short - and Medium-Range Weather Prediction Research Publication Series*, 4.
- Del Pino Corredera, J.D. (2016). Análisis del uso operativo de los indicadores de verificación basados en tablas de contingencia en el pronóstico de fenómenos meteorológicos adversos. In XXXIV Jornadas Científicas de la Asociación Meteorológica Española (p. 10). Actas de las XXXIV Jornadas Científicas de la AME y el XVII Encuentro Hispano Luso de Meteorología. Teruel, February 29–March 2. Retrieved from <http://hdl.handle.net/20.500.11765/6098>
- Dominguez Martín, M. (2013). La Configuración de la protección civil en las Comunidades Autónomas. Especial referencia a la Comunidad de Madrid. *Revista de estudios locales. Cunal*, 1(163), 50-75. Retrieved from <https://www.revistacunal.com/actualidad/27-la-configuracion-de-la-proteccion-civil-en-las-comunidades-autonomas>

Donaldson, R. J., Dyer, R. M., & Kraus M. J. (1975). An objective evaluator of techniques for predicting severe weather events (Preprints). In *Ninth Conference on Severe Local Storms* (pp. 321–326). Preprints of Ninth Conference on Severe Local Storms of American Meteorological Society: Norman (Oklahoma), 23–25 October 1975.

Elizaga Rodriguez, F. (2009). Fenómenos adversos: Prioridad básica de AEMET. *Ambienta: la revista del Ministerio de Medio Ambiente*, (85), 28-35. Retrieved from <http://www.divulgameteo.es/uploads/Fen%C3%B3menos-adversos-AEMET.pdf>

Epstein Edward, S. (1969). "A scoring system for probability forecasts of ranked categories". *Journal of Applied Meteorology*, 8, 985-987. [https://doi.org/10.1175/1520-0434\(2000\)015<0559:DOTCRP>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0434(2000)015<0559:DOTCRP>2.0.CO;2)

Estrela Navarro, M.J., Pastor Guzmán, J., Miró Pérez, J.J., Gómez Domenech, I., & Barberá Bisbal, M.J. (2007). Diseño de un sistema de predicción operativa de niveles de riesgo por temperaturas extremas para la Comunidad Valenciana. Olas de calor. In M. J. Estrela Navarro (Coord.), *Riesgos climáticos y cambio global en el Mediterráneo español* (pp. 235-252.). Valencia: Fundación Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo.

García-Moya Zapata, J. A., Genovés Terol, A., Garcías Lladó, B., & Jansà Clar, A. (1990). Resultados de la verificación sistemática de las alertas en el GPV de Baleares durante 1990. In // *Simposio Nacional de Predictores del INM* (pp. 399-423). Actas del II Simposio Nacional de Predictores. Madrid, de 20 a 22 de noviembre de 1990. Retrieved from <http://hdl.handle.net/20.500.11765/3873>

Garcías Lladó, B., & Jansà Clar, A. (1989). Las alertas del G.P.V. de Baleares: Formulación probabilística cuantitativa de fenómenos meteorológicos significativos, verificación, ejemplo. In // *Simposio Nacional de Predictores del INM* (pp. 275-288). Actas del I Simposio Nacional de Predictores. Madrid, 1989. Retrieved from <http://hdl.handle.net/20.500.11765/3830>

Garrido Abenza, R., Palenzuela Cruz, J.E., & Bañon Peregrín, L.M. (2014). *Atlas climático de la Región de Murcia*. Agencia Estatal de Meteorología.

Gómez-Guillamón Fernández, S. (2001). Verificación de los fenómenos meteorológicos adversos. In *V Simposio Nacional de Predicción* (p. 7). Actas del V Simposio Nacional de Predictores. Madrid, November 20-23. Retrieved from <http://hdl.handle.net/20.500.11765/4990>

Gordaliza Borrego, J. (2018). Avisos de fenómenos meteorológicos adversos (FMA). In *Predicción de tiempo y clima asociada a impactos*, 1(35), 307-315. Acta de las XXXV Jornadas Científicas de la AME y el XIX Encuentro Hispano Luso de Meteorología. León, March 5-7 2018. Retrieved from <http://hdl.handle.net/20.500.11765/11496>

Jansà Clar, A. (1987). Formulación y verificación de predicciones probabilísticas. Análisis del sistema de alertas meteorológicas. Servicio de Predicción de "Rissagues" y campaña "PREVIMET MEDITERRÁNEO 1987". *Revista de meteorología*, 3(10), 5-11. <http://hdl.handle.net/20.500.11765/2128>

Lomas González, A., & Torrijo Murciano, R. (2013). Comunicación y meteorología adversa en AEMET. In *Curso de verano de la Universidad de Alicante 'Rafael Altamira': Meteorología, riesgos, comunicación y sociedad* (pp. 77). Retrieved from <http://hdl.handle.net/20.500.11765/6313>

McCann, D. W. (1983). The enhanced-V: A satellite observable severe storm signature. *Monthly Weather Review*, 111, 887–894.
[https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1983\)111%3C0887:TEVASO%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1983)111%3C0887:TEVASO%3E2.0.CO;2)

Martínez Albadalejo, A. (2001). Evaluación de avisos de fenómenos adversos en Cataluña. In *V Simposio Nacional de Predicción* (p. 6). Actas del V Simposio Nacional de Predictores. Madrid, November 20-23. Retrieved from <http://hdl.handle.net/20.500.11765/4996>

Mayer Suarez, P., & Marzol Jaén, M.V. (2014). Análisis de las temperaturas extremas en las Islas Canarias y su relación con los avisos de alertas meteorológicas. In S. Fernández Montes & F. Sánchez Rodrigo (Eds.), *Cambio climático y cambio global* (pp. 391-400). Madrid: Asociación Española de Climatología.

Olcina Cantos, J. (2012). Alertas meteorológicas. In F. J. Ayala Carcedo & J. Olcina Cantos (Coords.), *Riesgos Naturales* (pp. 1325-1358). Barcelona: Ariel Ciencia.

Olcina Cantos, J., & Rico Amorós, A. M. (1995). Sequías y golpes de calor en el sureste ibérico: efectos territoriales y económicos. *Investigaciones Geográficas*, (13), 47–79. <https://doi.org/10.14198/ingeo1995.13.09>

Panofsky, H. A., & Brier, G. W. (1958). *Some applications of statistics to meteorology*. Pennsylvania: Mineral Industries Extension Services, College of Mineral Industries, Pennsylvania State University.

Peña Rabadán, J. C., & Raso Nadal, J. M. (2008). Sectorización territorial de los avisos de calor emitidos por el Servei Meteorològic de Catalunya. Aplicación de un análisis en componentes principales a la temperatura máxima diaria. In J. Sigró Rodríguez, M. Brunet India, & E. Aguilar Anfrons (Eds.), *Cambio climático regional y sus impactos* (p. 401-412.). Tarragona: Asociación Española de Climatología.

Peña Rabadán, J. C., & Raso Nadal, J. M. (2010). El aviso de la situación meteorológica de riesgo por frío emitido por el Servei Meteorològic de Catalunya: definición de los umbrales, sectorización territorial y peligrosidad del fenómeno. In *VII Congreso de la Asociación Española de Climatología: clima, ciudad y ecosistemas* (pp. 431-442). Actas del VII Congreso de la AEC. Madrid, November 24 a 26. Retrieved from <http://hdl.handle.net/20.500.11765/8521>

Peñuela Palma, A., Vallejo Villalta, I., & Camarillo Naranjo, J. M. (2019). Análisis de los avisos de la AEMET en la provincia de Sevilla entre los años 2011 y 2017. *Investigaciones Geográficas*, 71, 55-74. <https://doi.org/10.14198/INGEO2019.71.03>

Rivera Pérez, A. (1990). Las situaciones de lluvias torrenciales en el área mediterránea española y el plan PREVIMET. *Revista del Aficionado a la Meteorología*, 6. Retrieved from <http://www.divulgameteo.es/uploads/Previmet-I.pdf>

Rivera Perez, A. (2013). *Recuerdos del tiempo*. Sevilla (Spain): Punto Libro Rojo.

Rivera Pérez, A., & Martínez López, C. (1983). Tratamiento digital de imágenes Meteosat de alta resolución. Aplicación al caso de las inundaciones de Levante en octubre de 1982. *Revista de Meteorología*, 3(2). Retrieved from <http://hdl.handle.net/20.500.11765/1157>

Roa Alonso, A., & García Couto, M. Á. (2018). Los Simposios de Predicción del antiguo INM. In *XXXV Jornadas Científicas de la Asociación Meteorológica Española* (pp. 27-33). Actas de las XXXV Jornadas Científicas de la AME y el XIX Encuentro Hispano Luso de Meteorología. León, March 5-7. Retrieved from <https://dx.doi.org/10.30859/ame|rCn35p27>

Ruiz Álvarez, V. (2016). Categorización y zonificación de las secuencias pluviométricas secas de larga duración en la Región de Murcia (1965-2014). In *XXXIV Jornadas Científicas de la Asociación Meteorológica Española*. Teruel, February 29-March 2. Retrieved from <https://pub.ame-web.org/index.php/JRD/article/view/1984/2211>

Ruiz Álvarez, V., Belmonte Serrato, F., García Marín, R., & Ruiz Álvarez, M. (2016). Análisis y evolución temporal de las secuencias pluviométricas secas de larga duración en la Región de Murcia (1864-2015). In J. Olcina Cantos, A. M. Rico Amorós, & E. Moltó Mantero (Eds.), *Clima*,

sociedad, riesgos y ordenación del territorio (pp. 335–344). <https://doi.org/10.14198/xcongresoaealicante2016-31>

Torrijo Murciano, R., & Lomas González, A. (2018). La dependencia de la calidad de los avisos con el tamaño del área en el que se emiten. In *XXXV Jornadas Científicas de la Asociación Meteorológica Española* (pp. 131-138). Actas de las XXXV Jornadas Científicas de la AME y el XIX Encuentro Hispano Luso de Meteorología. León, March 5-7. Retrieved from <https://dx.doi.org/10.30859/amejrCn35p131>